

Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Terkekang Ditinjau Dari Tegangan-Regangan

Moh. Taufiq dan Bambang Sabariman

Prodi Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Beton sering digunakan sebagai elemen struktur, contohnya bendungan, saluran, pondasi basement, bangunan gedung maupun jalan raya. Jadi, hampir semua itu banyak yang memanfaatkan beton. Karena beton mempunyai karakteristik yang cocok untuk hal infrastruktur pembangunan. Beton didefinisikan sebagai sebuah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu disebut pecah), semen, air, dan bahan tambahan lain (*admixtures*) bila diperlukan dan telah mengeras. Dalam penelitian ini peneliti mencoba stabilisasi kimia dengan menggunakan bahan aditif *Fly Ash* PLTU PAITON. Penambahan *Fly Ash* tersebut diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan atau tegangan beton baik yang terkekang maupun yang tidak terkekang. Klasifikasi penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimen yang menganalisis karakteristik tegangan-regangan pada beton mutu normal yang ditambahkan *Fly Ash* sebagai bahan pengganti semen. Adapun variasi penambahan *Fly Ash* yaitu 0 %, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Benda uji dibuat berbentuk silinder beton dengan tinggi 30cm dan diameter 15cm. Jumlah benda uji keseluruhan adalah 36 benda uji dengan masing-masing campuran berjumlah 3 benda uji baik yang memakai sengkang maupun yang tidak memakai sengkang. Pengujian tegangan-regangan beton dilakukan dengan cara memberi beban pada benda uji beton silinder sampai mencapai kondisi failure (inelastis). Dari keseluruhan penelitian ini, regangan tidak ada yang memenuhi syarat yang telah ditentukan (Syarat Kent-Park, regangan = 0,002) baik yang menggunakan sengkang maupun tanpa menggunakan sengkang. Namun bila menggunakan syarat dari SNI yaitu regangan = 0.003 masih bisa terpenuhi yaitu diatas $f_c' = 18,94$ MPa. Dari hasil percobaan didapat adanya peningkatan f_c rata-rata sebesar 16,86 % beton memakai sengkang terhadap beton tanpa sengkang. f_c' optimum beton tanpa sengkang tercapai pada penambahan *Fly Ash* 15%, sedangkan f_c' optimum beton menggunakan sengkang tercapai pada penambahan *Fly Ash* 10%.

Kata kunci: *Fly Ash, Tegangan-Regangan, Syarat Kent-Park, Syarat SNI.*

Concrete is often used as a structural element, such as dams, channels, basement foundations, buildings and roads. Thus, almost all of which take advantage of the many concrete because concrete has a suitable characteristics for the development of infrastructure. Concrete is defined as a material obtained by mixing fine aggregate (sand), coarse aggregate (gravel / stone called broken), cement, water, and other additives (*admixtures*) when needed and has hardened. In this study, researchers tried to chemical stabilization using additives Fly Ash Paiton. Addition of fly ash is expected to increase the compressive strength of concrete whether or voltage restrained or not restrained. Classification of the study included the type of study that analyzed the experimental stress strain characteristics on normal strength concrete were added fly ash as a cement replacement material. The variation of the addition of fly ash that is 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. Cylindrical test specimen made of concrete with 30cm high and 15cm in diameter. Total number of test specimens is 36 test objects with each numbering 3 specimen mix well using stirrups or not wearing stirrups. Concrete stress strain testing is done by putting pressure on the cylindrical concrete specimen until it reaches a failure state (inelastic). Of the overall study, no strain that has been determined eligible (Kent-Park Terms, strain = 0.002) both use stirrups or without using stirrups. However, when using the terms of the SNI is strain = 0.003 can still be fulfilled that is above $f_c' = 18.94$ MPa. From the experimental results obtained f_c an increase on average by 16.86% against the concrete wearing stirrups concrete without stirrups. f_c' optimum concrete without stirrups reached on addition of 15% fly ash, while f_c' optimum concrete using stirrups reached on addition of 10% fly ash.

Keywords: *Fly Ash, Stress-Strain, Kent-Park Terms, SNI Terms.*

PENDAHULUAN

Seiring perkembangannya sekarang ini, manusia tidak pernah jauh dari bangunan yang terbuat dari beton. Beton adalah materi yang paling banyak digunakan. Dengan beton dapat dibangun bendungan, saluran, pondasi basement, bangunan gedung maupun jalan raya. Jadi, hampir semua itu banyak yang memanfaatkan beton.

Beton didefinisikan sebagai sebuah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu disebut pecah), semen, air, dan bahan tambahan lain (*admixtures*) bila diperlukan dan telah mengeras. Definisi beton bertulang adalah beton yang diberi besi tulangan dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material (beton dan besi tulangan) bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang diterima.

Perencanaan struktur beton memerlukan persamaan matematik dalam analisisnya, antara lain persamaan kurva tegangan regangan beton (Nawy, 1988). Kurva tegangan regangan beton akan menampilkan perilaku dari beton yang akan dianalisis. Misal kuat tekan beton, regangan beton saat kondisi ultimit, kondisi beton mulai runtuh, dan kondisi beton saat mulai hancur.

Bahan tambahan saat ini banyak digunakan kedalam campuran beton dengan berbagai tujuan, baik yang berbentuk organik dan non organik. Cara pemakaiannya pun berbeda-beda, sebagai bahan pengganti atau sebagai tambahan pada campuran untuk mengurangi pemakaian material utama sehingga dapat mengurangi biaya untuk pembelian material yang harganya relatif mahal.

Fly Ash merupakan material yang memiliki ukuran butir yang halus, berwarna kuning keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara. Pada intinya *Fly Ash* mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferro oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida

(MgO), titanium oksida (TiO_2), serta sulfur trioksida (SO_3) dalam jumlah yang lebih sedikit.

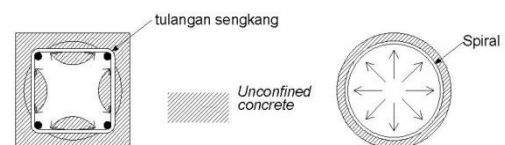
KAJIAN PUSTAKA

A. Definisi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Untuk mengetahui perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Tri Mulyono (2003:3) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

B. Pengekangan Pada Beton

Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan sengkang yang berbentuk persegi maupun bulat. Tulangan sengkang berfungsi untuk mengurangi bahaya pecah (*spitting*) beton yang dapat mempengaruhi daktilitas penampang beton bertulang. Penampang yang diberi tulangan melintang (*transversal*), berbentuk sengkang persegi, bulat atau spiral akan meningkatkan kekuatan serta daktilitas beton. Lilitan sengkang bulat atau spiral memberikan tekanan kekang disekeliling penampang. Sedangkan sengkang persegi hanya memberikan gayakekang di daerah sudut karena tekanan pada sengkang cenderung membengkokkan bagian ujung sengkang ke arah luar. Meskipun tidak sebaik lilitan spiral, sengkang persegi memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas pada beton, untuk itulah telah diadakan berbagai modifikasi bentuk sengkang persegi untuk meningkatkan kemampuan kekangnya.



C. Syarat Pengekangan Beton Menurut SNI 2002.

1. Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal
2. Spasi maksimum tulangan transversal:
3. $\frac{1}{4}$ dari penampang terkecil
4. 8 x diameter tulangan memanjang
5. 100 mm
6. Jarak maksimum tulangan longitudinal 15 cm
7. Rasio volumetric sengkang persegi
 - a. $A_{sh} = 0,3 \cdot s \cdot h_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yh}} \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$
 - b. $A_{sh} = 0,09 \cdot s \cdot h_c \cdot \frac{f'_c}{f_{yh}}$
 - c. A_{sh} = luas total penampang tulangan sengkang (*hoop*),
 - d. s = jarak sengkang,
 - e. H_c = penampang kolom terkekang diukur antar garis tengah tulangan sengkang,
 - f. A_g = luas bruto penampang kolom
 - g. A_{ch} = luas penampang kolom terkekang diukur antar sisi luar sengkang,
 - h. f_{yh} = kuat leleh tulangan sengkang, tidak boleh lebih dari 400 MPa
8. Rasio volumetric spiral atau tulangan sirkular ρ_s tidak boleh kurang dari:
 - a. $\rho_s = 0,45 \cdot \frac{\left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) f'_c}{f_y}$
9. f_y tulangan sengkang tidak boleh lebih dari 400 MPa.

D. Syarat kolom

1. Batasan rasio tulangan memanjang : $1\% \leq \rho_t \leq 6\%$
2. Mempunyai gaya tekan aksial : $P > 0,10 \cdot A_g \cdot f'_c$
3. Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 batang tulangan didalam sengkang ikat segiempat atau lingkaran, 3 batang tulangan didalam sengkang ikat segitiga, dan 6 batang tulangan yang dikelilingi oleh spiral.
4. Dimensi penampang terpendek, diukur pada satu garis lurus yang melalui titik berat penampang, tidak boleh kurang dari 300mm
5. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi yang tegak lurus padanya tidak boleh kurang dari 0,4
6. Panjang efektif dari komponen struktur tekan Untuk komponen struktur yang ditahan terhadap

goyangan kesamping, faktor panjang efektif k harus diambil sama dengan 1,0 ; kecuali bila analisis menunjukkan bahwa suatu nilai yang lebih kecil boleh digunakan. Untuk Komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, factor panjang efektif k harus ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh dari keretakan dan tulangan terhadap kekuatan relatif, dan harus lebih besar dari 1,0.

7. Radius girasi:
8. Pada komponen struktur tekan persegi, radius girasi r boleh diambil sama dengan $0,3 \times$ dimensi total dalam arah stabilitas yang ditinjau, dan sama dengan $0,25 \times$ diameter untuk komponen struktur tekan bulat. Untuk bentuk penampang lainnya, r boleh dihitung dari penampang beton bruto.
9. Pengaruh kelangsingan untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila:
10. $\frac{k \cdot l_u}{r} < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$
11. Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan bila:

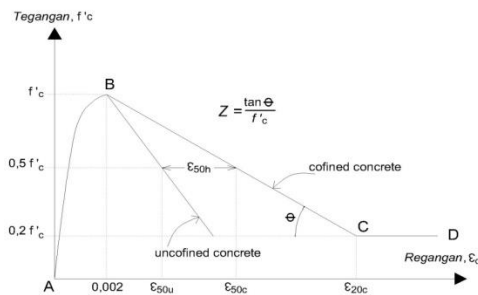
$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 22$$

E. Efek Pengekangan Pada Tegangan Regangan Beton

Telah banyak dilaporkan dari hasil penelitian bahwa akibat pengekangan pada beton dapat meningkatkan tegangan aksial dan daktilitas struktur. Hal ini disebabkan adanya gaya lateral tekan yang diberikan oleh kekangan pada beton. Selain itu tegangan lateral yang bekerja pada beton juga akan meningkatkan daktilitas beton. Deformasi lateral beton yang mulai mengalami retak akan terhambat oleh adanya tekanan transversal kekangan sehingga kurva tegangan-regangan beton terkekang yang dihasilkan umumnya menunjukkan penurunan yang lebih landai pada regim pasca puncak.

Beberapa teori tentang efek pengekangan pada beton:

a. Tegangan Regangan Beton *Modified Kent & Park* (Park, 1966)



Pada kurva tersebut dapat dilihat karakteristiknya sebagai berikut:

Daerah A-B: $\epsilon_c \leq 0,002$

$$f_c = f'_c \left[\frac{2 \cdot \epsilon_c}{0,002} - \left(\frac{\epsilon_c}{0,002} \right)^2 \right]$$

Daerah B-C: $\epsilon_c > 0,002$

$$f_c = f'_c [1 - Z (\epsilon_c - 0,002)]$$

Tetapi tidak lebih kecil dari $0,2 \cdot f'_c$

$$Z = \frac{0,5}{\epsilon_{50u} + \epsilon_{50uh} + 0,002}$$

$$\epsilon_{50u} = \frac{f'_c - 1000}{f'_c - 1000}$$

$$\epsilon_{50uh} = \frac{3}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{b''}{S_h}}$$

Nilai Z sangat menentukan dalam pengaturan kekangan (sengkang). Dengan diketahui nilai Z dapat dicari nilai S_h (jarak sengkang). Demikian pula jika diketahui jarak sengkang maka data ditentukan nilai Z_m . Pada kurva momen-daktilitas pengaturan kekangan yang naik akan dicapai dengan nilai Z yang rendah. Hal ini dapat ditentukan dengan dengan memperbesar nilai ρ_s . Semakin besar nilai ρ_s , semakin baik kekangannya sehingga nilai Z akan semakin rendah. Semakin rendah nilai Z akan semakin baik nilai *curvature ductility*nya.

F. Baja Tulangan

Tulangan untuk beton harus selalu menggunakan baja tulangan deform, sedang baja tulangan polos hanya boleh dipakai untuk tulangan sengkang baik itu sengkang spiral atau sengkang persegi.

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Klasifikasi penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimen yang menganalisis karakteristik tegangan regangan pada beton mutu normal yang ditambahkan *Fly*

Ash sebagai bahan pengganti semen. Dalam hal ini akan dijelaskan mengenai karakteristik bahan-bahan atau material yang dipakai serta langkah-langkah pengujian atau metode pengujian yang akan dilakukan.

B. Metode pengumpulan data

Untuk membuktikan keberadaan data yang dibuat maka perlu diadakan pengumpulan data sebagai pendukungnya. Adapun metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Metode eksperimen

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara percobaan serta pengujian bahan yang hasilnya nanti diharapkan dapat membantu untuk menyajikan data penelitian.

2. Metode dokumentasi

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari dokumen-dokumen atau catatan harian yang ada dari pihak-pihak yang terkait dengan obyek penelitian.

3. Metode literatur atau kepustakaan

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mencari literatur atau buku yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

C. Variabel Penelitian

Beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas
2. Variabel terikat
3. Variabel kontrol

D. Alat dan Bahan Penelitian

E. Pelaksanaan penelitian

1. Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2012/2013

2. Tempat penelitian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Beton Universitas Negeri Surabaya

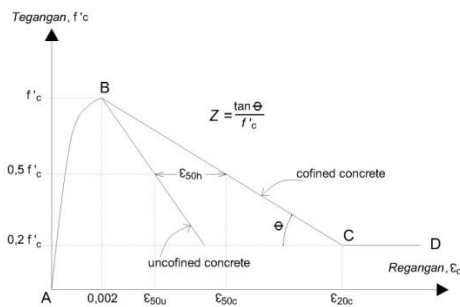
3. Tahap-tahap penelitian

- a. Masa Persiapan
- b. Design Benda Uji
- c. Pembuatan Benda Uji
- d. Perawatan Benda Uji
- e. Pengujian Benda Uji

F. Metode Pengumpulan Data

Adapun metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode deskriptif, yaitu pengukuran hasil uji coba dalam bentuk grafik, tabel, dan gambar meliputi:

1. Menentukan nilai Z dengan rumus Kent-Park yang nantinya akan digunakan sebagai prediksi tegangan-regangan.
2. Melakukan perhitungan sesuai dengan rumus Kent-Park untuk mencari prediksi tegangan regangan pada saat kondisi elastic maupun kondisi inelastic. Sehingga dapat digambar kurva tegangan-regangannya seperti gambar kurva di bawah ini.



3. Dari hasil eksperimen dibuat kurva tegangan-regangan beton dengan mengaplikasikan teori matematik tertentu dan teori regresi sampai diketahui persamaan matematik yang mewakili perilaku kurva tegangan regangan benda uji.
4. Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa tekanan vertikal terhadap benda uji yang berupa P dan perubahan perpindahan benda uji setelah uji tekan yang berupa ΔL .
5. Data P dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan/kuat tekan beton yaitu $f_c' = \frac{Pn}{A}$.
6. Sedangkan data ΔL dianalisis untuk mendapatkan nilai regangan yaitu diperoleh berdasarkan rumus $\epsilon = \frac{\Delta L n}{L}$.

HASIL PENELITIAN

A. Analisis Hasil Pengujian Kualitas Bahan

Pengujian awal terhadap bahan-bahan (agregat) yang akan digunakan untuk eksperimen untuk mengetahui kualitas bahan. Proses dan prosedur pelaksanaan disajikan

pada bab sebelumnya. Berikut ini disajikan hasil pengujian awal bahan :

1. Kandungan senyawa kimia pada *Fly Ash*
Fly Ash didapatkan dari limbah pembakaran batu bara. Dibawah ini disebutkan prosentase komponen senyawa yang terdapat dalam *Fly Ash*:

No.	Senyawa	Persentase (%)
1.	(CaO)	9,3
2.	(SiO ₂)	70,6
3.	(Al ₂ O ₃)	15,3
4.	(Fe ₂ O ₃)	5,3
5.	(MgO)	0,9
6.	(SO ₄)	0,08

Dari tabel di atas, dapat kita lihat bahwa terdapatnya senyawa-senyawa yang terkandung dalam abu *Fly Ash* merupakan bahan utama dari bahan pembuatan semen Portland. Dan dapat kita simpulkan bahwa *Fly Ash* tersebut termasuk dalam kelas F karena kadar $(SiO_2 + AlO_3 + FeO_3) = 81,2\% > 70\%$.

2. Pemeriksaan berat jenis *Fly Ash*.
 - berat Picnometer Kosong (W)= 75,5 gr
 - berat *Fly Ash* = 125 gr
 - berat Picnometer + minyak tanah=282gr
 - berat Picnometer + minyak tanah= 378gr
 - berat jenis minyak tanah= 0,80 gr/cc

$$\text{Berat jenis Fly Ash} = \frac{0,8 \times A}{A - (C - B)} = \frac{0,8 \times 125}{125 - (378 - 282)}$$

3. Pemeriksaan konsistensi normal *Fly Ash*.
Hasil pengamatan konsistensi normal *Fly Ash*

Jumlah air		Penurunan
%	cc	mm
28	70	5,5
32	95	18

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa untuk penurunan 10mm kadar airnya adalah 19,5 %. Jadi nilai konsistensi normal *Fly Ash* = 29,5 %. Atau air suling yang dibutuhkan untuk mencampur 250gr *Fly Ash* adalah sebesar = $29,5\% \times 250 = 74cc$.

4. Pemeriksaan waktu pengikatan awal dan akhir *Fly Ash*.

Hasil percobaan diketahui bahwa untuk penurunan 25mm adalah mencapai 68 menit disebut dengan waktu pengikatan awal. Sedangkan penurunan sampai 0 mm membutuhkan waktu 225 menit menunjukkan waktu pengikatan akhir. Dari

hasil tersebut dapat dievaluasi besarnya waktu pengikatan awal menunjukkan waktu 68 menit (> 60 menit). Dan waktu pengikatan akhir menunjukkan waktu 225 menit (< 480 menit).

5. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir hitam yang dijual di pasaran. Pengujian terhadap pasir antara lain berat jenis (*Saturate Surface Dry*) SSD, berat jenis kering oven, kadar penyerapan pasir, berat per volume pasir dan analisa ayakan. Hasil dari beberapa pengujian diatas sebagai berikut:

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis SSD	2,72 $\frac{gr}{cc}$
2.	Berat Jenis Kering Oven	2,55 $\frac{gr}{cc}$
3.	Kadar Penyerapan Pasir	4,61 %
4.	Berat Per Volume Pasir	1,45 $\frac{gr}{cc}$
5.	Analisa Ayakan	Zone 2

6. Kerikil

Kerikil yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil yang dijual dipasaran. Pengujian terhadap kerikil antara lain berat jenis SSD, berat jenis kering oven, kadar penyerapan kerikil, berat per volume kerikil dan analisa ayakan. Hasil dari beberapa pengujian diatas sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kerikil

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis SSD	2,61 $\frac{gr}{cc}$
2.	Berat Jenis Kering Oven	2,48 $\frac{gr}{cc}$
3.	Kadar Penyerapan Kerikil	7,7 %
4.	Berat Per Volume Kerikil	1,40 $\frac{gr}{cc}$
5.	Analisa Ayakan	19,1 mm

(Sumber :hasil uji lab)

7. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tanah biasa dan tidak dilakukan penelitian khusus karena dianggap memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton.

8. Pengujian mutu baja

Untuk mengetahui mutu baja (f_y) maka akan dilakukan tes uji kuat tarik. Adapun hasil pengujian tes kuat tarik baja adalah $f_y = 240$ MPa

9. Bentuk benda uji

Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi silinder 30cm, diameter silinder 15cm. Adapun sengkang yang digunakan adalah sengkang spiral dengan besi Ø5,5cm jarak 35 mm.

10. Mix design beton

Metode mix design dalam penelitian ini mengacu pada SNI-2002 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Mix design* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Mutu Beton $f_c' 20$ MPa pada umur 28 hari dengan cacat maksimum 5%

Semen yang digunakan = Semen Gresik

Ukuran diameter maks kerikil = 20mm

Tinggi slump yang disyaratkan = 6-10 cm

Standart deviasi ditetapkan = 7

MPaPasir termasuk ke dalam zone = 2

Hasil mix design tiap 1m³ beton =

semen =330,88

air = 225kg

pasir = 681,65 kg

kerikil =1022,47 kg

11. Membuat mortar beton

Berikut prosedur pembuatan benda uji :

- Menyiapkan seluruh bahan material dalam ember-ember seng
- Menyiapkan beton molen dalam keadaan bersih dan kering
- Kerikil dan pasir dicampur terlebih dahulu sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.
- Dalam keadaan mesin molen berputar masukkan semen dan *Fly Ash*sesuai komposisi rencana.
- Campurkan air sesuai takaran.
- Setelah 3 menit mulut molen dipindahkan beton dituang ditempat yang telah disediakan
- Jika bekas gosokan cetok terlihat mengkilap permukaannya maka beton sudah homogen
- Pada waktu mencampur sumbu putar molen dianjurkan membuatsudut 15-30 derajat dari bidang datar
- Untuk uji *slump* Masukkan adukan ke dalam slump sambil dirojok hingga penuh
- Angkat *slump* dengan di goyang sambil ditarik secara perlahan.
- Ukur ketinggian campuran setelah dimasukkan *slump* dari yang maksimal hingga minimal.
- Masukkan campuran ke dalam cetakan yang permukaan dalamnya telah dilumuri dengan oli.
- Ratakan permukaan beton pada cetakan.

12. Hasil *Slump test*

Bersarkan *Slump test* di laboraturim didapatkan bahwa nilai rata-rata penurunan pada campuran beton adalah 8,6 cm, ini berarti bahwa campuran beton tersebut telah memenuhi persyaratan perencanaan *Mix Design* 8 ± 2 cm.

13. Ukuran Benda Uji Silinder

Dari hasil pengujian benda uji silinder untuk tiap-tiap campuran keseluruhan memiliki tinggi rata-rata 30 cm dan diameter rata-ratanya 15 cm, di mana dari tiap-tiap komposisi tersebut dibuat sebanyak 3 benda uji silinder.

14. Perawatan

Setelah proses pengecoran (benda uji berumur 24jam), bekisting dibuka kemudian diadakan perawatan dengan cara direndam selama 28 hari. Setelah beton berumur 28 hari, benda uji diangkat dan diamkan mencapai kering udara.

B. Penyajian dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa tekanan vertikal terhadap benda uji yang berupa P dan perubahan perpindahan benda uji setelah uji tekan yang berupa ΔL . Data P dan ΔL kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan/kuat tekan beton yaitu $f_c' = \frac{P_n}{A}$, sedangkan nilai regangan diperoleh berdasarkan rumus $\epsilon = \frac{\Delta L_n}{L}$. Hasil olah data dan gambar hubungan tegangan-regangan dapat dilihat pada lampiran.

C. PEMBAHASAN

1. Karakteristik Beton.

Karakteristik benda uji silinder beton meliputi ukuran dan kuat tekan yang dihasilkan oleh benda uji silinder beton baik yang diberi tambahan *Fly Ash* maupun tidak, yaitu sebagai berikut :

a. Ukuran benda uji silinder beton

Silinder beton yang ditambahkan dengan *Fly Ash* sebagai benda uji dicetak dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm tidak mengalami perubahan setelah berumur 28 hari. Sehingga benda uji yang dipakai dalam penelitian ini telah memenuhi syarat untuk dipakai dalam pengujian kuat tekan beton menurut SNI 03-1974-1990.

b. Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan benda uji silinder dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton Tanpa Sengkang (Sumber: Hasil Pengujian)

No	Kuat Tekan Beton Menggunakan Sengkang (MPa) Dengan Kandungan <i>Fly Ash</i>					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
1	23,439	24,912	28,422	30,686	28,875	24,628
2	23,100	24,628	29,667	29,498	27,856	25,025
3	22,534	25,025	30,686	28,365	28,167	24,657
Rata rata	23,024	24,855	29,592	29,516	28,299	24,770

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder Beton Menggunakan Sengkang

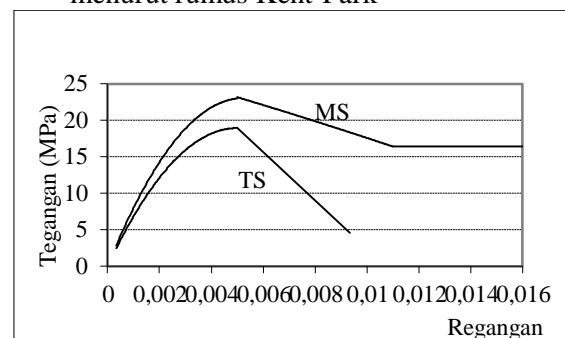
No	Kuat Tekan Beton Tanpa Sengkang (MPa) Dengan Kandungan <i>Fly Ash</i>					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
1	18,7013	22,5902	23,8924	25,9306	23,8924	22,5902
2	18,8146	22,5336	23,4961	25,4777	23,4961	22,5336
3	18,9385	22,4344	23,3263	26,3836	23,3263	22,4344
Rata rata	18,939	22,5194	23,5716	25,9306	23,5716	22,5194

(Sumber: Hasil Pengujian)

2. Tegangan Regangan beton

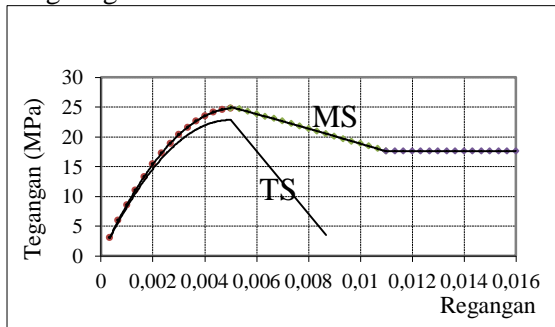
Berdasarkan hasil pengujian benda uji maka diperoleh data data, yang kemudian data-data tersebut dianalisa untuk mendapatkan angka tegangan regangannya. Hasil analisa tersebut diplot dalam sumbu Cartesian dua dimensi, yaitu regangan non dimensi sebagai absisnya, tegangan (MPa) sebagai ordinatnya. Setelah semua data sudah diplot dalam bentuk grafik.

Di bawah ini akan digambarkan hubungan tegangan regangan dalam bentuk grafik (interaksi komputer) sebagai berikut: Grafik Perbandingan Tegangan-Regangan Benda Uji *Fly Ash* 0% Menggunakan Sengkang dengan Benda Uji *Fly Ash* 0% Tanpa Sengkang menurut rumus Kent-Park



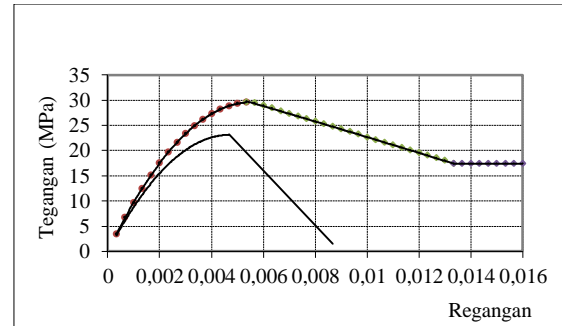
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa belum memenuhi syarat Kent-Park baik

yang menggunakan sengkang maupun tanpa sengkang karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' < 18,94$ MPa. Dan bila menggunakan syarat dari SNI dimana regangan beton di perencanaan sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan sudah lebih besar dari tegangan rencana, artinya dengan syarat SNI percobaan ini sudah memenuhi syarat. Tegangan pada benda uji menggunakan sengkang lebih tinggi 21,57% bila dibandingkan dengan benda uji tanpa sengkang.



Grafik Perbandingan Tegangan-Regangan Benda Uji *Fly Ash* 5% Menggunakan Sengkang dengan Benda Uji *Fly Ash* 5% Tanpa Sengkang

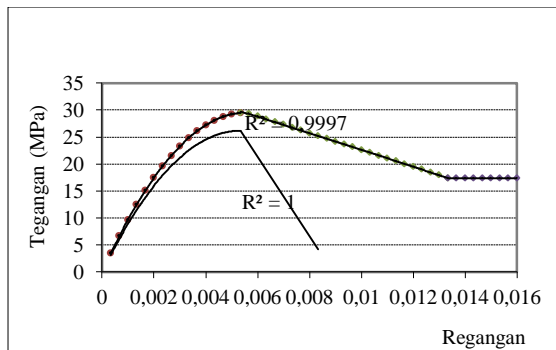
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa Pada benda uji beton dengan *Fly Ash* 5% belum memenuhi syarat Kent-Park baik yang menggunakan sengkang maupun tanpa sengkang, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' < 18,94$ MPa. Dan bila menggunakan syarat dari SNI dimana regangan beton di perencanaan sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan lebih besar dari tegangan rencana yaitu $f_c' > 18,94$ MPa baik benda uji menggunakan sengkang maupun tanpa sengkang. Artinya dengan syarat SNI percobaan ini memenuhi syarat. Tegangan pada benda uji menggunakan sengkang lebih tinggi bila dibandingkan dengan benda uji tanpa sengkang. Hal ini disebabkan adanya gaya lateral tekan yang diberikan oleh kekangan pada beton. Selain itu tegangan lateral yang bekerja pada beton juga akan meningkatkan daktilitas beton. Deformasi lateral beton yang mulai mengalami retak akan terhambat oleh adanya tekanan transversal kekangan sehingga kurva tegangan-regangan beton terkekang yang dihasilkan umumnya menunjukkan penurunan yang lebih landai pada regim pasca puncak.



Grafik Perbandingan Tegangan-Regangan Benda Uji *Fly Ash* 10% Menggunakan Sengkang dengan Benda Uji *Fly Ash* 10% Tanpa Sengkang menurut rumus Kent-Park

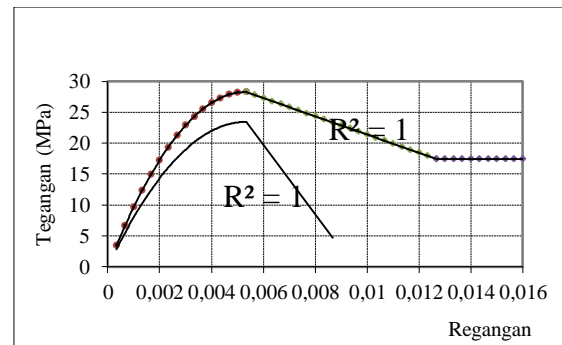
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa Pada benda uji beton dengan *Fly Ash* 10% tanpa sengkang belum memenuhi syarat Kent-Park, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan baru mencapai 15,48 MPa, tegangan ini lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' = 18,94$ MPa ($15,48$ MPa $< 18,94$ MPa). Dan bila menggunakan syarat dari SNI dimana regangan beton di perencanaan sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan sebesar 20,05 MPa, artinya dengan syarat SNI percobaan ini memenuhi syarat.

Sedangkan untuk benda uji beton dengan *Fly Ash* 10% menggunakan sengkang juga belum memenuhi syarat Kent-Park, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan baru mencapai 17,466 MPa, tegangan ini lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' = 18,94$ MPa ($17,466$ MPa $< 18,94$ MPa). Tetapi bila menggunakan syarat dari SNI dimana regangan beton di perencanaan sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan sebesar 23,324 MPa, artinya dengan syarat SNI percobaan ini memenuhi syarat. Tegangan pada benda uji menggunakan sengkang lebih tinggi bila dibandingkan dengan benda uji tanpa sengkang. Hal ini disebabkan adanya gaya lateral tekan yang diberikan oleh kekangan pada beton. Selain itu tegangan lateral yang bekerja pada beton juga akan meningkatkan daktilitas beton. Deformasi lateral beton yang mulai mengalami retak akan terhambat oleh adanya tekanan transversal kekangan sehingga kurva tegangan-regangan beton terkekang yang dihasilkan umumnya menunjukkan penurunan yang lebih landai pada regim pasca puncak.



Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Tegangan-Regangan Benda Uji *Fly Ash* 15% Menggunakan Sengkang dengan Benda Uji *Fly Ash* 15% Tanpa Sengkang menurut rumus Kent-Park

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa Pada benda uji beton dengan *Fly Ash* 15% tanpa sengkang belum memenuhi syarat Kent-Park, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan baru mencapai 15,94 MPa, tegangan ini lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' = 18,94$ MPa ($15,94 \text{ MPa} < 18,94 \text{ MPa}$). Sedangkan pada benda uji yang menggunakan sengkang, juga belum memenuhi syarat Kent-Park, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan baru mencapai 17,421 MPa, tegangan ini lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' = 18,94$ MPa ($17,421 \text{ MPa} < 18,94 \text{ MPa}$). Dan bila menggunakan syarat dari SNI dimana regangan beton di perencanaan sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan benda uji tanpa sengkang sebesar 23,19 MPa, artinya dengan syarat SNI percobaan ini memenuhi syarat. Demikian pula dengan benda uji yang menggunakan sengkang telah memenuhi syarat karena pada saat regangan beton sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan sebesar 23,264 MPa. Tegangan pada benda uji menggunakan sengkang lebih tinggi bila dibandingkan dengan benda uji tanpa sengkang. Hal ini disebabkan adanya gaya lateral tekan yang diberikan oleh kekangan pada beton. Selain itu tegangan lateral yang bekerja pada beton juga akan meningkatkan daktilitas beton. Deformasi lateral beton yang mulai mengalami retak akan terhambat oleh adanya tekanan transversal kekangan sehingga kurva tegangan-regangan beton terkekang yang dihasilkan umumnya menunjukkan penurunan yang lebih landai pada regim pasca puncak.

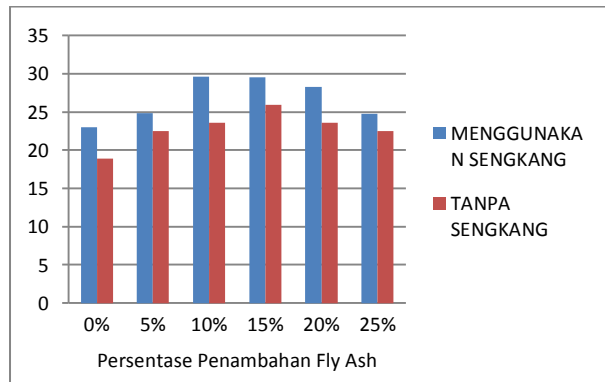


Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Tegangan-Regangan Benda Uji *Fly Ash* 20% Menggunakan Sengkang dengan Benda Uji *Fly Ash* 20% Tanpa Sengkang menurut rumus Kent-Park

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa Pada benda uji beton dengan *Fly Ash* 20% tanpa sengkang belum memenuhi syarat Kent-Park, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan baru mencapai 14,29 MPa, tegangan ini lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' = 18,94$ MPa ($14,29 \text{ MPa} < 18,94 \text{ MPa}$). Demikian pula terjadi pada benda uji yang menggunakan sengkang, tegangan belum memenuhi syarat Kent-Park, karena saat regangan mencapai 0,002 tegangan baru mencapai 17,241 MPa, tegangan ini lebih rendah dari tegangan rencana yaitu $f_c' = 18,94$ MPa ($17,241 \text{ MPa} < 18,94 \text{ MPa}$). Namun bila menggunakan syarat dari SNI dimana regangan beton di perencanaan sebesar 0,003, dalam percobaan didapat tegangan sebesar 20,05 MPa, artinya dengan syarat SNI percobaan ini memenuhi syarat. Demikian pula tercapai pada benda uji menggunakan sengkang dalam percobaan didapat tegangan sebesar 22,88 MPa, artinya dengan syarat SNI percobaan ini memenuhi syarat. Tegangan pada benda uji menggunakan sengkang lebih tinggi bila dibandingkan dengan benda uji tanpa sengkang. Hal ini disebabkan adanya gaya lateral tekan yang diberikan oleh kekangan pada beton. Selain itu tegangan lateral yang bekerja pada beton juga akan meningkatkan daktilitas beton. Deformasi lateral beton yang mulai mengalami retak akan terhambat oleh adanya tekanan transversal kekangan sehingga kurva tegangan-regangan beton terkekang yang dihasilkan umumnya menunjukkan penurunan yang lebih landai pada regim pasca puncak.

Hubungan antara kuat tekan benda uji silinder beton dengan penambahan *Fly Ash* pada benda

uji silinder beton dapat dilihat pada Gambar berikut:



Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton meningkat hingga pada 10 sampai 15% penambahan *Fly Ash*, namun setelah itu kuat tekan beton mengalami penurunan. Adanya kenaikan tegangan beton adalah akibat dari penambahan yang ideal dari *Fly Ash* pada campuran beton. Namun apabila penambahan dari *Fly Ash* telah mencapai optimum akan terjadi degradasi dari tegangan itu sendiri yang diakibatkan oleh ruang antar partikel semen telah terisi penuh oleh *Fly Ash* dan ada beberapa bagian *Fly Ash* yang tidak bereaksi dengan semen sehingga kekuatan tekan beton akan menurun.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari keseluruhan penelitian ini, regangan tidak ada yang memenuhi syarat yang telah ditentukan (Syarat Kent-Park, regangan = 0,002) baik yang menggunakan sengkang maupun tanpa menggunakan sengkang. Namun bila menggunakan syarat dari SNI yaitu regangan = 0,003 masih bisa terpenuhi yaitu diatas $f_c' = 18,94$ MPa
2. Tegangan beton tanpa sengkang meningkat hingga mencapai 36,92 % dari tegangan yang awal pada penambahan *Fly Ash* 15%, kemudian pada campuran berikutnya tegangan beton mengalami penurunan dari tegangan optimum.
3. Tegangan beton menggunakan sengkang meningkat mencapai 28,53% dari tegangan yang awal pada penambahan *Fly Ash* 10%, kemudian pada campuran berikutnya tegangan beton mengalami penurunan dari tegangan optimum.

4. Dari pengujian yang dilakukan kuat tekan optimum yaitu pada benda uji menggunakan sengkang dengan penambahan *Fly Ash* 10% dengan kuat tekan sebesar 29,592 MPa. Sedangkan untuk benda uji tanpa sengkang, kuat tekan optimum yaitu pada penambahan *Fly Ash* 15% yaitu sebesar 25,931 MPa.

Saran

Untuk kesempurnaan dalam penelitian selanjutnya, dengan ini peneliti mengharapkan:

1. Pada pengujian diharapkan ketelitian dalam pembacaan *dial gauge*.
2. Perlu ada penelitian lanjutan menggunakan balok sebagai benda uji.
3. Perlu ada penelitian lanjutan dengan memperhitungkan kuat leleh sengkang

DAFTAR PUSTAKA

- Nawy, Edward. G. 1988. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bambang Suryoatmojo, Penerjemah. Bandung :RefikaAditama
- Park & Paulay 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York : John Wiley & sons inc.
- Nugraha Paul & Antoni 2007. *Teknologi Beton*. Surabaya : LPPM UK Petra & Andi Offset.
- Mulyono Tri 2005. *Teknologi Beton*. Jakarta : Andi Offset.
- Sutikno 2005. *Labsheet Beton Teknologi*. Surabaya. Universitas Negeri Surabaya
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Anonym. 2006 *Panduan Penulisan Dan Penilaian Skripsi*. Surabaya : Unesa University Perss
- Sudjana, 1992. *Teknik Analisis Regresi Dan Korelasi Bagi Para Peneliti*. Bandung : Tarsito.
- Sugiono. 2011. *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.